

液状化を考慮した金沢の地盤動特性評価

北浦 勝・宮島 昌克・鈴木 広士

I はじめに

新潟地震（1964 年）以来、地盤の液状化現象が地盤の動特性に関する分野で急速に注目されるようになってきた。これは、わが国の都市のほとんどが、地盤の液状化現象が発生しやすいとされる沖積平野に位置し、また、地盤の液状化現象が発生すると構造物に壊滅的な被害が生じるからである。先の日本海中部地震（1983 年 5 月 26 日）においても、津波による犠牲者や船舶の被害と共に、地盤の液状化現象による構造物の被害が秋田・青森両県の各地で多数生じたことは記憶に新しい。

ここ 20 年余りの液状化に関する活発な調査、研究の結果、液状化の発生メカニズムが明らかになったのをはじめとし、多くの成果が得られている¹⁾。また、液状化の予測についても多くの研究^{2),3),4)}がなされており、各種耐震基準に液状化に関する検討事項が規定されるまでに至っている。しかし、これらはいずれもある 1 つの構造物に着目し、その地点における液状化の予測を行なっているものである。近年、都市化の進行に伴いその地震対策が注目を集めているライフライン構造物を考える場合、点での予測では十分とは言えず、線あるいは面での予測が必要となってくる。また、地域防災計画や復旧計画を策定するうえでも面的に扱っていくことが重要となってくる。

そこで本研究では、液状化の発生危険度を面的に予測するために、メッシュ分析法を用いて地盤が液状化する確率がある値となるときの地表最大加速度の分布を示す液状化危険度マップを作成した。解析例として、金沢の地盤をとりあげ液状化危険度を評価するとともに、液状化危険度マップが有する問題点を指摘し、考察・検討を行なった。

II 地盤の液状化と構造物被害との関係

1 液状化現象とその被害

地盤の液状化現象とは、地盤中の比較的ゆるづめの飽和砂が地震動による繰返しせん断応力を受け、このときに生ずるダイレイタンスー効果によって、砂粒子間の間隙水圧が上昇し、最終的に粒子間の有効応力が 0 となる現象のことである。液状化時には、砂粒子間の拘束圧がなくなり、水中に砂粒子が浮遊した状態となり、地盤全体があたかも液体であるかのような挙動を示す。したがって、地盤の液状化現象が発生しやすい条件は、一般に、(1)砂質地盤、(2)地下水位が高い地盤、(3)沖積層などの軟弱な地盤、であると言われている。

地盤の液状化現象による構造物の被害の特徴は、地盤が液体状になっているために飽和砂より比重の軽い構造物は浮上し、逆に比重の重い構造物は沈下することである。また、この時地中から砂混りの水が吹き出す噴砂現象を伴うことが多い。地盤の液状化現象は、構造物を支え

ている地盤が一時的にせよ支持力を失うわけであるから、構造物に壊滅的な被害を与えることは言うまでもない。先の日本海中部地震において、秋田、青森両県の各地で地盤の液状化現象による数多くの被害が報告されている^{5),6)}。地盤の液状化現象による被害は、沖積平野の河口付近、河川の河床、旧河道部分、海岸近くの砂丘地帯、軟弱地盤上の盛土箇所など多く発生し、地中埋設管の継手部の抜け出し・打込み、コンクリート電柱の陥没、道路の陥没・のり面崩壊、干拓堤防の沈下・変形、港湾の岸壁の背後の埋め立て地の沈下・亀裂、建築物の基礎の折損・傾斜・移動などの被害が生じた。また、1799年の地震に関する古文書の記述によれば、浅野川沿いの「田井筋鶴間谷など別して3尺余り（1m）も地割れ、其中より水吹出し候所も見うけ、吹水1丈余（3m）も空へ上り候所も有之候由」と記されており⁷⁾、金沢においても、地震が起った場合、液状化が発生する可能性が十分に考えられる。

一方、構造物の液状化対策として、液状化の発生そのものを防止するための工法、液状化の発生は許すが、施設の被害を軽減するための工法などの対策が建設時にとられている。しかし、現代都市が液状化による被害を受けてから日が浅いため、対策の効果が実際に確認された例は極めて少ない⁸⁾。また、既存の構造物に対する液状化対策は、ほとんどなされていないのが現状である。

このように液状化対策に関する問題点は残されているが、液状化対策を行う場合には、まず、対象とする地盤が果して液状化対策を必要とする地盤なのか否かを判断しなければならない。したがって、液状化対策の必要性を判断するために、液状化の発生危険度を予測することは非常に重要であると言える。

2 地盤の液状化予測評価法

想定される地震に対して、地盤の液状化現象が生ずるか否かを予測する方法は、種々提案されており、以下のように大別することができる^{9),10)}。

- (i) 過去の液状化の事例から得られた微地形、地震のマグニチュード、震央距離と液状化の関係を用いる方法。
- (ii) 地盤の標準貫入試験によるN値、土の粒度、地震動（主に地表最大加速度）と液状化の関係を用いる方法。
- (iii) 繰返しせん断試験と地震応答解析の結果を用いる方法。
- (iv) 土の液状化のモデルを用いて、地盤のシミュレーションを行う方法。
- (v) 発破、杭打ち等を振動源とする原位置試験による方法。
- (vi) 振動台を用いた模型実験による方法。

以上の方法の中で、(ii)は地盤の力学的な特性が考慮されており、しかも豊富にあるボーリングデータから比較的簡便に求めることができるということから、道路橋設計示方書¹¹⁾、水道施設耐震工法指針¹²⁾、捨石・鈎さい堆積場建設基準および解説¹³⁾などに取り入れられている。そこで、本解析においても(ii)の方法を採用することにする。

しかし、(ii)の方法はある地点のある深さでの液状化に対する安全率 F_L を算出しているので、ある地点の地盤全体の液状化予測はできない。そこで、岩崎・龍岡は、地盤の液状化の激しさの程度を表現する指標として地盤液状化指数 P_L を提案している^{4),14)}。地盤液状化指数 P_L は、上記(ii)の方法で得られる液状化に対する安全率 F_L を用いて算出されるもので、各地点の地盤の液状化の程度を連続量で表現することができ、過去の震害記録とよい対応を示している。そこで、本研究では、地盤液状化指数 P_L を用いて液状化予測評価を行った。以下、岩崎・龍岡によ

る地盤液状化指数 P_L について簡単に説明する。

まず、各深度における地震時荷重 L_I を、

$$L_I = \frac{\alpha_{s \max}}{g} \cdot \frac{\sigma_{vc}}{\sigma'_{vc}} \cdot \gamma_d \quad (1)$$

で推定する。ただし、 $\alpha_{s \max}$ は地表最大加速度、 g は重力加速度、 σ_{vc} 、 σ'_{vc} はそれぞれ初期状態における全上載圧と有効上載圧、 γ_d は地盤の変形性による低減係数であり、

$$\gamma_d = 1 - 0.015z \quad (2)$$

で表わされる。ここに、 z は深度 (m) である。

一方、液状化に対する土の要素の強度 R_I は、

$$R_I \doteq R_{I20} \quad (3)$$

と表わされる。ここで、 R_{I20} は、振動三軸試験での繰返し回数 20 回で動的に破壊する応力比であり、

$D_r^* \leq 60$ のとき、

$$\begin{aligned} R_{I20} &= 0.0882 \sqrt{\frac{N}{\sigma'_{vc} + 0.7}} - 0.225 \log_{10} \frac{D_{50}}{0.35} & (0.04 \leq D_{50} \leq 0.6 \text{ mm}) \\ R_{I20} &= 0.0882 \sqrt{\frac{N}{\sigma'_{vc} + 0.7}} - 0.05 & (0.6 \leq D_{50} \leq 1.5 \text{ mm}) \end{aligned} \quad (4)$$

$D_r^* > 60$ のとき、

$$\begin{aligned} R_{I20} &= \left(\frac{D_r^*}{123} \right)^2 - 0.225 \log_{10} \frac{D_{50}}{0.35} & (0.04 \leq D_{50} \leq 0.6 \text{ mm}) \\ R_{I20} &= \left(\frac{D_r^*}{123} \right)^2 - 0.05 & (0.6 \leq D_{50} \leq 1.5 \text{ mm}) \end{aligned} \quad (5)$$

と表わされる。ただし、 N は N 値、 D_{50} は平均粒径 (mm)、 D_r^* は推定相対密度であり、

$$D_r^* = 21 \sqrt{\frac{N}{\sigma'_{vc} + 0.7}} \quad (6)$$

である。

このとき、ある深度の砂層の液状化に対する安全率を、

$$F_L(z) = \frac{R_I}{L_I} \quad (7)$$

と定義する。さらに、 $F_L(z)$ の深さ方向の変化より、地盤液状化指数 P_L を、

$$P_L = \int_0^{20} F(z) \cdot W(z) dz \quad (8)$$

と定義する。ここで、

$$F(z)=\begin{cases} 1-F_L(z) & (F_L(z)<1.0) \\ 0 & (F_L(z)\geq 1.0) \end{cases} \quad (9)$$

であり、 $W(z)$ は深さに対する重み関数である。

さらに、岩崎・龍岡は、過去6つの地震で液状化したと報告されている45地点と液状化しなかったと報告されている13地点のボーリングデータから、地盤液状化指数 P_L と液状化確率との関係を表わしており、これに亀田・後藤による近似式¹⁵⁾を付記したのが図1である。図1によれば、 $P_L=0$ のとき液状化確率は0、 $P_L=5$ のとき0.5、 $P_L=15$ のとき1.0となるので、 $P_L=0$ 、5、15という値が工学的に非常に重要な意味を持っていることがわかる。図1をもとに、岩崎・龍岡は、液状化危険度の判定および液状化対策規準を表1のように定めている⁴⁾。

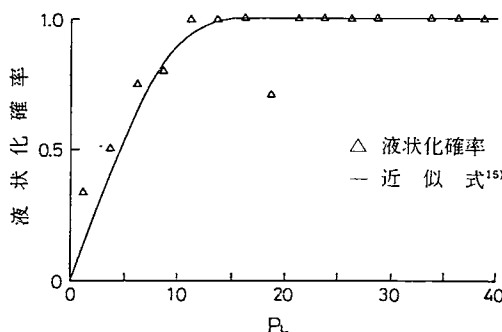


図1 地盤液状化指数と液状化確率との関係⁴⁾

表1 液状化危険度の判定および液状化対策規準（岩崎・龍岡による）

P_L 値	液 状 化 危 険 度
$P_L = 0$	液状化危険度はかなり低い。液状化に関する詳細な調査は一般に不要。
$0 < P_L \leq 5$	液状化危険度は低い。特に重要な構造物の設計に際しては、より詳細な調査が必要。
$5 < P_L \leq 15$	液状化危険度が高い。重要な構造物に対して、より詳細な調査が必要。液状化対策が一般に必要。
$15 < P_L$	液状化危険度が極めて高い。液状化に関するより詳細な調査と液状化対策は不可避。

解析例として、日本海中部地震で地盤の液状化による被害が生じた青森県車力村、稲垣村、市浦村の4地点における地盤液状化指数 P_L 、地表最大加速度との関係で表わしたものが図2⁵⁾である。この4地点のうち、No. 1～3は地盤の液状化現象が発生したと認められる地点であり、No. 4は認められなかった地点である。この地域の地表最大加速度は、約250～350 galと推定されている。250～350 galの地表最大加速度に対応する地盤液状化指数 P_L は、図2から、No. 1～3の地点で15以上の値をとり、No. 4の地点で5.5～12.7の値をとることがわかる。これは、No. 1～3では1.0の確率で液状化が発生することに対応し、No. 4では約0.5～0.98

の確率で液状化が発生することに対応している。したがって、15以上の値をとる No. 1～3の地盤液状化指数は、実際の現象とよい対応を示していると言える。

III 金沢の液状化危険度

1 解析方法

地盤液状化指数 P_L を求めるには、以下のデータが必要である。

- (i) 地表面での最大加速度
- (ii) 平均粒径の分布
- (iii) N 値の分布
- (iv) 単位体積重量の分布
- (v) 地下水位

これらのうち、 N 値と地下水位はボーリング柱状図から直接求まるデータである。しかし、各層の平均粒径と単位体積重量は、一般にボーリング柱状図に記載されていない。そこで、表2に示すように地盤を構成する各層の土質に対して平均粒径、単位体積重量を仮定し、解析に用いた。

文献16)に示されているボーリング柱状図のうち、深度20 m以上、かつ、地下水位がわかっている金沢市およびその近郊の計426地点について解析を行った。この426地点のデータから地盤液状化指数 P_L を求めるため、対象地域を約500 m×500 mのメッシュに分割した。このメッシュの一区画は、標準メッシュ・システムにしたがい、1/50,000地形図(国土地理院発行)の従横をそれぞれ40等分した1辺約500 m(緯度15″×経度22.5″)の区画である。各メッシュの地盤液状化指数 P_L の代表値は、メッシュ内にあるボーリング地点の地盤液状化指数 P_L の平均値とした。

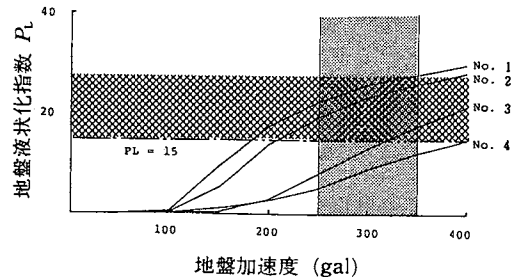


図2 地表最大加速度に対する地盤液状化指数⁵⁾
(青森県車力村、市浦村、稲垣村)

表2 各土層に対する単位体積重量、有効重量、平均粒径の推定値

土 質	単位体積重量 (t/m ³)	有効重量 (t/m ³)	平均粒径 (mm)
表 土	1.7	0.7	0.020
シ ル ト	1.7	0.7	0.025
砂質シルト	1.7	0.7	0.040
シルト質細砂	1.9	0.9	0.070
微 細 砂	1.9	0.9	0.100
細 砂	1.9	0.9	0.150
中 砂	1.9	0.9	0.350
粗 砂	1.9	0.9	0.600
砂 礫	2.1	1.1	2.000
粘 土	1.6	0.6	0.005
腐 植 土	1.7	0.7	0.020

2 金沢の液状化危険度マップ

図3は、対象地域に震度Vに相当する200 galという一定の地表最大加速度が生じたときの地盤液状化指数分布である。 $P_L > 15$ となる、すなわち、地盤の液状化が確実に発生すると予測される地区は、河北潟と北陸自動車道の間に挟まれた地域に散在しているのがわかる。

しかし、地表面の最大加速度は、その地盤の沖積層の厚さや軟弱さによって大きく異なる。仮に、ある地震で金沢全域の基盤に等しい加速度の地震波が伝播してきたとした場合、地震波が地表へと伝播していく過程で、表層の動特性によって異なる増幅作用を受け、地表での最大加速度にかなりのばらつきが生じる。また、基盤に等しい加速度の地震波が入力されるとも限らない。したがって、金沢全域に対して同一の地表最大加速度として算出された地盤液状化指数分布である図3は、地震時の液状化危険度分布を的確に示しているとは言い難い。本来ならば、想定した地震波が地盤の増幅作用を受けるという点を考慮して、各地点の地表最大加速度を求めるべきである。しかし、想定される震源域や規模が確定できないため、本研究では、次のような方法で液状化危険度を表わした。

地盤液状化指数 P_L の5、15の値は、液状化確率がそれぞれ0.5、1.0になることに対応しているので、液状化危険度を評価する上で重要な数値となることは、II章2節で述べた。そこで、地盤液状化指数 P_L がそれぞれ5、15の値、言い換えるならば、液状化確率がそれぞれ0.5、1.0となるような地表最大加速度を示すことにより液状化危険度を表わすことにした。すなわち、この評価方法では、地表最大加速度が小さいほど、小さい震度でも0.5ないしは1.0の確率で液状化が発生することを意味しており、液状化危険度が高いことを示している。これが図4、図5であり、以後液状化危険度マップと呼ぶことにする。

図4、5に示す液状化危険度マップの違いは、対象とする液状化確率の違いのみを示すものではない。図4の液状化確率1.0に対する液状化マップは、小さい地盤最大加速度で地盤が液状化するような液状化危険度の高い地域の中でも、極めて液状化危険度の高い地域の分布をよく表わしている。一方、図5の液状化確率0.5に対する液状化危険度マップは、大きい地表最大加速度のもとではじめて地盤が液状化するような液状化危険度の低い地域において、その中でも比較的液状化危険度の高い地域の分布をよく表わしている。図4、図5の液状化危険度マップを用いると、金沢市とその近郊の液状化危険度は、次のように評価される。

図4によれば、液状化危険度の高いメッシュは、全体的に、河北潟、北陸自動車道、北陸本線で囲まれた地域に分布している。中でも、200 gal以下の地表最大加速度でほぼ確実に地盤が液状化するという極めて液状化危険度の高いメッシュは、河北潟と北陸自動車道との間に挟まれた地域に点在している。この地域には、ボーリングデータの1つもないメッシュが比較的多くあるので、液状化危険度の高いメッシュが、実際にどのような範囲に分布しているのかを液状化マップからだけでは判断することはできない。これらの地域に対しては、地盤の液状化に関するより詳細な検討を加える必要がある。

また、図4によれば、沖積平野の河口付近、あるいは、沖積層が厚いということから液状化危険度が高いと思われた金石地区および河北潟沿岸部では、液状化危険度が低くなっている。これは、土質の違いによる影響があるものと思われるが、詳しくはIV章1節で述べることにする。しかし、図5において、同地区の地表最大加速度が低い値を示しているので、地盤の液状化の危険性がまったくないとは言い切れない。

図4において、地表最大加速度が400 gal以上にならないと液状化確率が1.0に達しない液状化危険度の低いメッシュは、主として、小立野台地と犀川以南の地域に分布している。しか

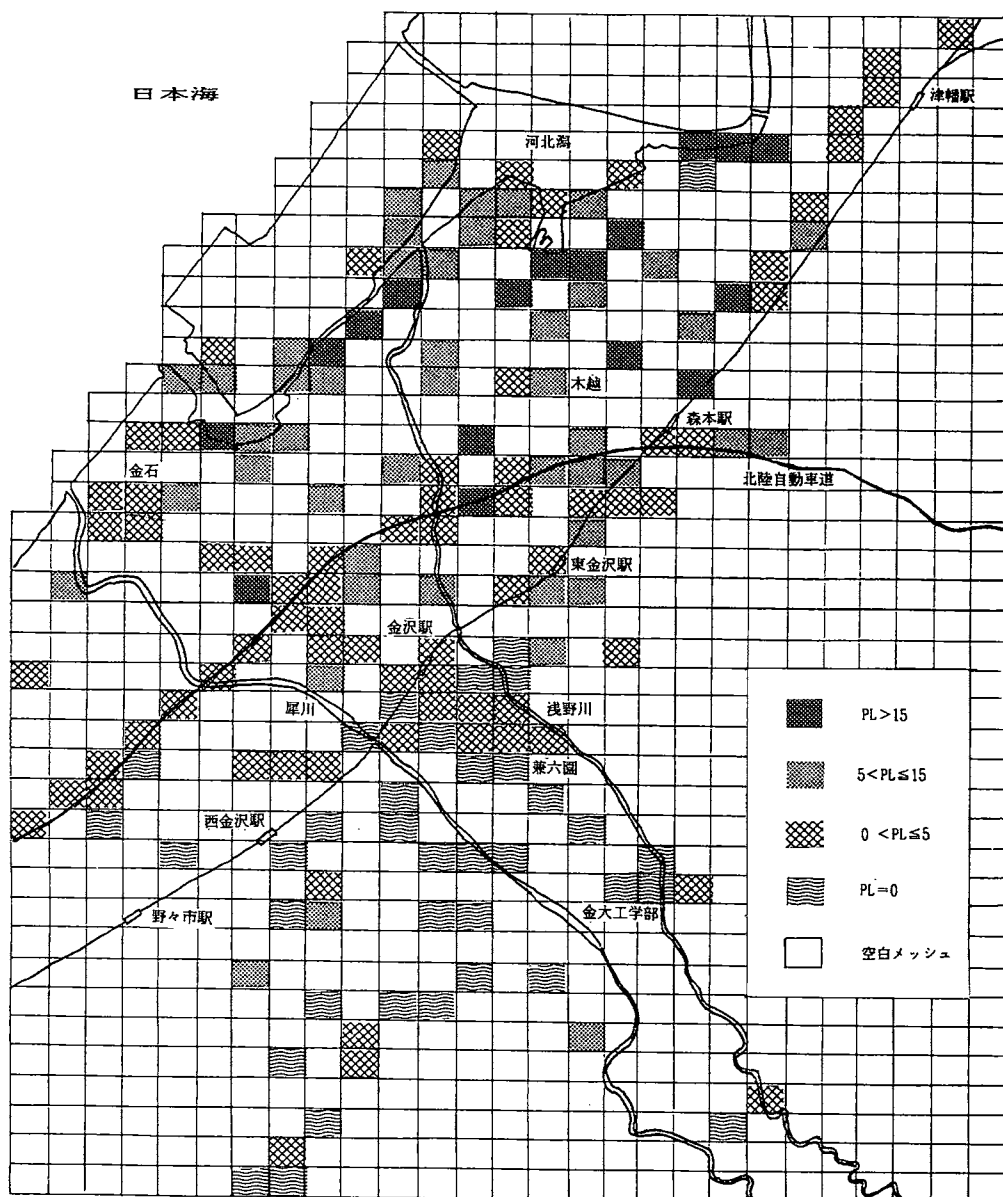


図3 地盤液化化指数分布 (地表最大加速度 200 gal)

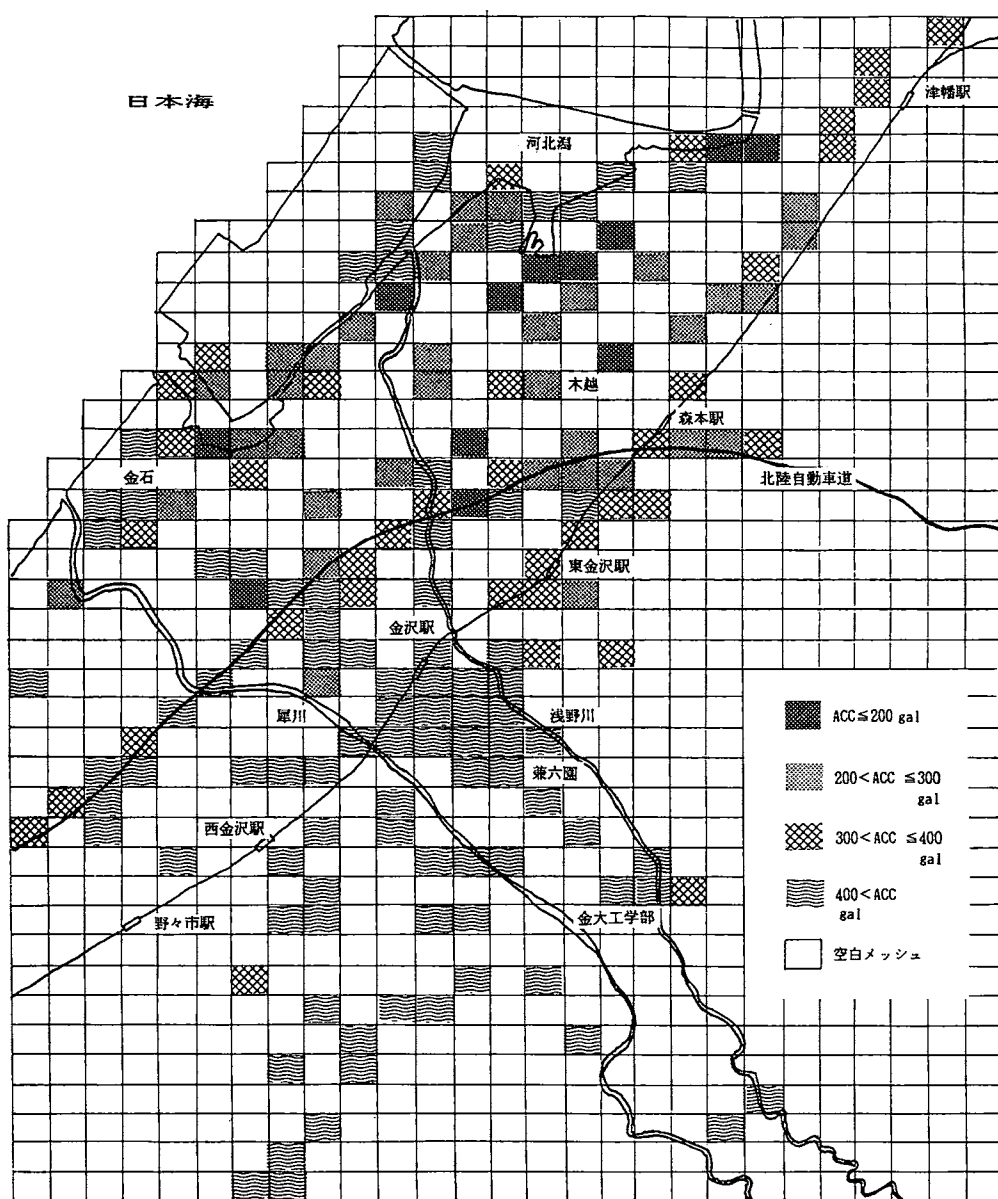


図4 液状化確率が1.0となる地表最大加速度分布

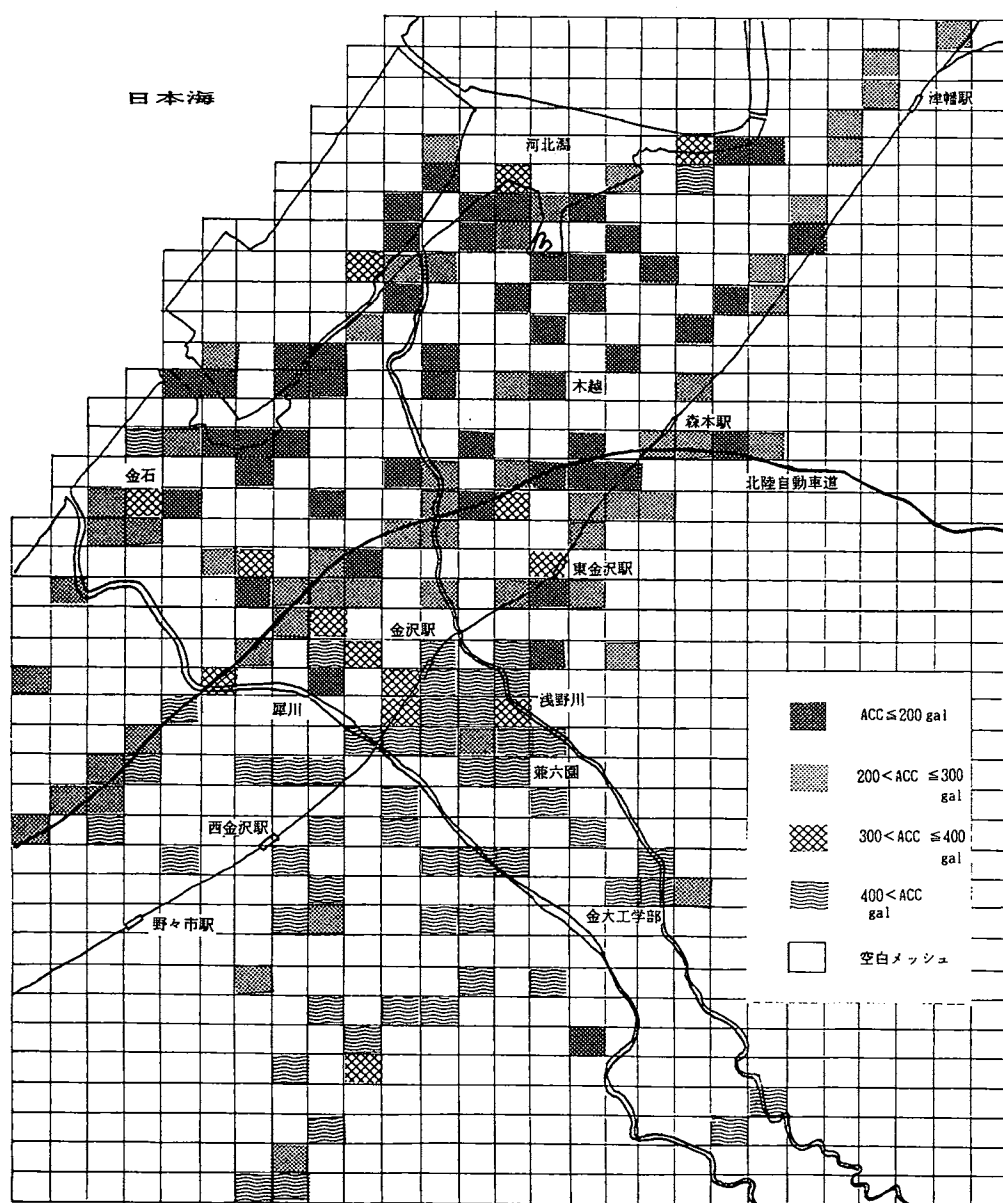


図5 液状化確率が0.5となる地表最大加速度分布

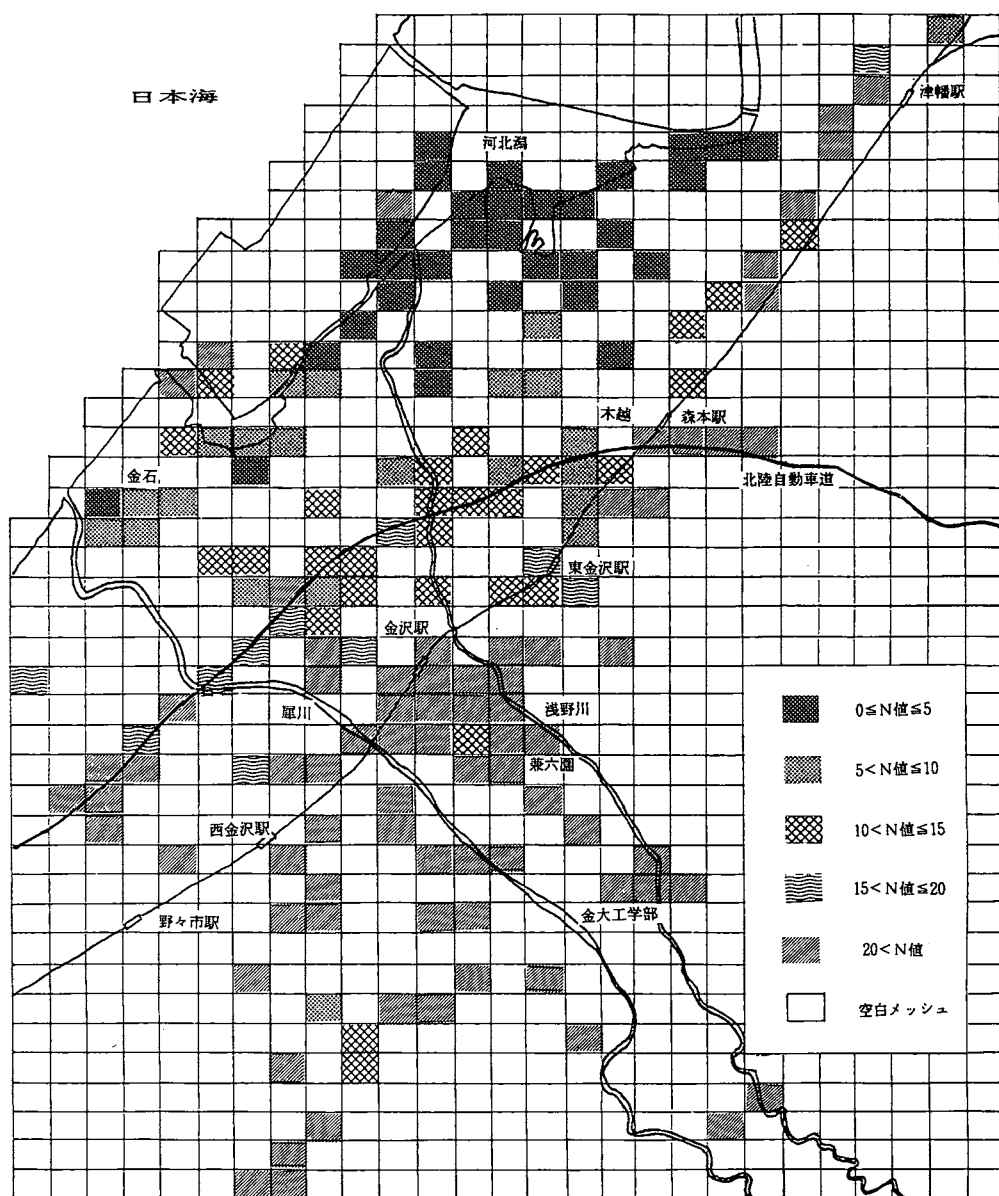


図6 地表面から深さ20m以内の平均N値分布

し、この地域の中でも、図5に示すように、低い地表最大加速度で液状化確率が0.5となるようなメッシュがあるので、このような地域に対しても液状化対策を検討していく必要がある。

IV 液状化危険度マップを用いた評価法に対する考察

1 平均N値との比較

金沢市およびその近郊での地表面から深さ20m以内の平均N値の分布を図6に示す。N値は、標準貫入試験において地盤中に30cm貫入させるのに必要なハンマー打撃数であるから、この値によって地盤の硬軟を判定することができる。図6によれば、 $0 \leq N \text{ 値} \leq 5$ なる非常に軟弱な地盤は河北潟南部に集中しており、この地域より南下していくにつれて平均N値が高くなる傾向にある。特に、小立野台地、犀川南部では非常に強固な地盤であるといえる。

しかし、ボーリング柱状図から簡便に求めることができる平均N値は、地盤の硬軟を的確に表現する指標であるが、液状化危険度予測という点では、問題点が少なからずある。

その一つとして、地下水位の問題がある。II章1節で述べたように、地盤の液状化現象は、ゆるづめの飽和砂層に地震によるせん断力が加えられた時に生ずる現象である。すなわち、たとえゆるづめの、N値の低い砂層であったとしても、地下水位が低い場合、不飽和状態であるので液状化危険度は低い。逆に、高いN値を示す強固な砂地盤であっても、地下水位が高い場合には、液状化危険度が低いとは一概に言えない。これに対し、地盤液状化指数 P_L は、計算は多少煩雑になるが、N値だけでなく、地下水位の影響も考慮されている。

次に、土質の違いによる地盤の液状化への影響である。図7(a)、(b)は、河北潟南部の約2.5km離れた2地点でのボーリング柱状図である。地表面から深さ20m以内の平均N値は、(a)、(b)それぞれ0.81、2.69であり、(a)の方が(b)より多少軟弱ではあるが、共に非常に軟弱な地盤であることを示している。また、地下水位は、それぞれ-0.57m、-2.67mであり、(a)の方が(b)より地下水位が高い。地下水位のみについて言えば、(a)の方が(b)より液状化しやすいと言える。しかし、図7(a)、(b)のボーリング柱状図において、地盤を構成している土質に注目すると、明

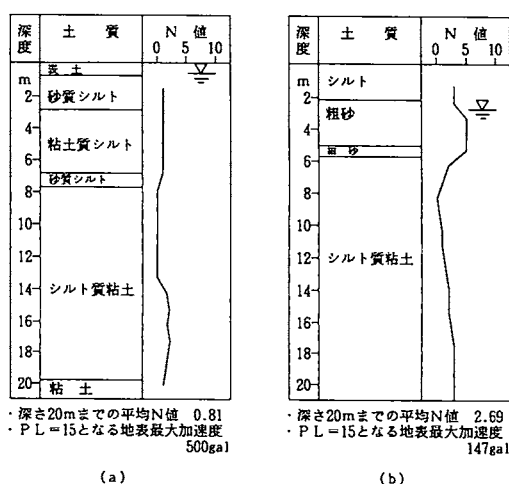


図7 河北潟南部におけるボーリング柱状図

らかに異なっている。つまり、(a)は、シルト、砂質シルト、シルト質粘土などのような平均粒径の小さい土質で構成されているのに対し、(b)では、地表面付近に細砂、粗砂などの砂層を多く含んでいる。砂質地盤に液状化現象が発生しやすいことから、(b)の地盤の方が液状化危険度が高いことは明らかである。これらの点の液状化確率が1.0となるときの地表最大加速度を求めると、それぞれ(a) 500 gal、(b) 147 gal となり、(b)の地盤の方が液状化危険度が高いことを示している。このように、平均 N 値を用いて地盤の良否を判断した場合には(b)の方が(a)の方より多少良い地盤だと判断されても、土質をも考慮された地盤液状化指数を用いた場合には、(b)の方が(a)の方より液状化危険度が非常に高いと判断されることがある。したがって、いったん液状化が発生するとその被害が激増するということを考慮に入れると、平均 N 値によって地盤の良否を判断するだけにとどまらず、地盤液状化指数を用いた判断が必要であると言える。

2 液状化危険度マップの問題点

地盤の液状化によるこれまでの被害記録から、地盤の液状化現象は、地質、地形、地下水位などの地盤条件に微妙に左右され、極めて局地的に発生すると言われている。この一例として、日本海中部地震における秋田県新屋元町での地盤の液状化による家屋の被害分布を図8¹⁷⁾に示した。図8によれば、地盤の液状化によって被害を受けた家屋は幅約130 mの帯状の地域に集中しているが、この被災地区は雄物川の旧河道とよい対応を示している。一方、この地区と道路一本隔てた地域においては、地盤の液状化の発生は見られず、したがって家屋の被害も生じなかった。



図8 地盤の液状化による家屋の被害状況（秋田市新屋元町）¹⁷⁾

図8に示す地盤の液状化による被災地区は、本解析において、液状化危険度マップに用いた約500 m×500 mのメッシュのほんの一部分に過ぎない。したがって、この地区を含むメッシュの液状化危険度を本解析で用いた方法で評価する場合、液状化が発生した地区にボーリングデータがあるかないかによって、その評価が大いに異なってくる。このことは逆に、それぞれのメッシュに対する液状化危険度は、メッシュ内の平均値に過ぎず、メッシュ内のある地点が液状化するかどうかという命題に対しての正確な解答を与えるものではないという問題点を示唆している。したがって、より正確に液状化危険度を評価するためには、各メッシュ内の微地形(河川、河川敷、旧河道、旧河川敷など)とボーリング地点との位置関係を比較検討した上で評価しなければならない。

また、一般にボーリングは、重要な構造物や建築物を建設する際に、地盤の軟弱さを知るために行なわれるものである。したがって、金沢では、金沢港、河北潟周辺、北陸自動車道、旧市街地にボーリング地点が集中している。それ以外の地区においては、ボーリング地点が散在しており、1メッシュ1地点がほとんどである。このように、ボーリング地点の分布の粗密の差が大きいため、上述のことを考え合わせると、メッシュ分析によって液状化危険度を評価するには多少問題が残る。当然のことではあるが、ボーリングデータの1つもないメッシュの液状化危険度をメッシュ分析で評価することはできない。

以上のことより、本研究で用いたメッシュ分析による液状化危険度では、十分詳細に予測することはできないので、本解析結果に加えて、さらに当該地域の微地形を考慮して評価する方法を今後検討していく必要がある。

V ま と め

本研究は、液状化の発生危険度を面的に予測するために金沢の地盤を例にとり液状化危険度マップを作成し、その評価と問題点について論じたものである。本研究の概要とその成果をまとめると以下の通りである。

- (1) 液状化の激しさの程度を表わす地盤液状化指数を用いて、地盤の液状化危険度をメッシュ分析した。このとき、地盤液状化指数と液状化確率との関係を用いて、液状化確率1.0、0.5となるような地表最大加速度を示す液状化危険度をマップを作成した。
- (2) 金沢市およびその近郊を対象に解析を行なった。この結果、液状化危険度の高い地域は、河北潟、北陸自動車道、北陸本線で囲まれた地区に分布していることがわかった。
- (3) ボーリング柱状図から簡便に求めることができる平均 N 値と、本解析で用いた地盤液状化指数とを比較検討した。液状化危険度の予測には、 N 値分布のみならず、地下水位、土質分布をも考慮しているという点で地盤液状化指数を用いた方が有効である。
- (4) 地盤の液状化現象はさまざまな地盤条件に微妙に左右される局地的な現象であるので、約500 m×500 mのメッシュで表現した液状化危険度マップを用いて、ある地点での液状化危険度を予測することには、多少問題が残る。したがって、より詳細に液状化危険度を予測するためには、微地形をも考慮した評価方法の確立が望まれる。

今後は、さらに想定した地震に対する液状化危険度マップの作成、および、この液状化危険度マップに加えて微地形を考慮して評価する方法を検討する必要がある。

最後に、本研究を実施するに当たり、種々の御教示を頂いた本学工学部建設工学科の小堀為雄教授、池本敏和技官、ならびに図表の作成に協力して頂いた建設防災工学講座の柿谷敏久氏、

稲木英憲氏、田中茂久氏、中野智子さん、日比野友亮氏、吉岡正修氏に深く感謝の意を表わします。

参 考 文 献

- 1) 例えば、吉見吉昭：砂地盤の液状化、技報堂、1980。
- 2) Seed, H. B.: Soil Liquefaction and Cyclic Mobility Evaluation for Level Ground During Earthquake, Journal of the Geotechnical Engineering Division, ASCE, Vol. 105, No. GT2, pp. 201~255, 1979.
- 3) 岩崎敏男・龍岡文夫・常田賢一・安田進：砂質地盤の地震時流動化の簡易判定法と適用例、第5回日本地震工学シンポジウム講演集、pp. 641~648、1978。
- 4) 岩崎敏男・龍岡文夫・常田賢一・安田進：地震時地盤液状化の程度の予測について、土と基礎、Vol. 28、No. 4、pp. 23~29、1980。
- 5) 北浦勝・宮島昌克・池本敏和・稲木英憲・鈴木広士：日本海中部地震による被害調査および地盤と震害の関係、金沢大学工学部紀要（投稿中）。
- 6) 土木学会東北支部：日本海中部地震報告、土木学会誌、Vol. 68、pp. 67~78、1983。
- 7) 石川県・金沢地方気象台：石川県災異誌、1971。
- 8) 吉松直幹・吉見吉昭・佐々木康：地盤の液状化 7. 液状化被害を軽減するための対策、土と基礎、Vol. 30、No. 4、pp. 71~79、1982。
- 9) 安田進・土田肇・谷口栄一：地盤の液状化 5. 液状化の予測（その1）、土と基礎、Vol. 29、No. 12、pp. 69~76、1981。
- 10) 安田進・土田肇・谷口栄一：地盤の液状化 5. 液状化の予測（その2）、土と基礎、Vol. 30、No. 2、pp. 73~81、1982。
- 11) 日本道路協会編：道路橋設計示方書・同解説 V耐震設計編、1980。
- 12) 水道施設耐震工法指針・解説、日本水道協会、1979。
- 13) 捨石・鉱さい堆積場建設基準および解説、日本鉱業会、1980。
- 14) 龍岡文夫・足立紀尚：第4章 土の動的強度（砂質土の液状化）、土木学会 新体系土木工学 18 土の力学（III）、技報堂、1981。
- 15) 高石和宏・後藤尚男・亀田弘行：地震後の復旧段階を考慮した上水道配水管路網の信頼度解析、第37回土木学会年次学術講演会講演概要集、pp. 783~784、1982。
- 16) 石川県平野部の地盤図集編集委員会：石川県平野部の地盤図集、北陸建設弘済会、1982。
- 17) 秋田市建築住宅課資料。

Evaluation of Soil Liquefaction Potential in KANAZAWA Plain

Masaru KITaura, Masakatsu MIYAJIMA and Hiroshi SUZUKI

ABSTRACT

Liquefaction of sandy soil caused much damage to above and underground structures, for example, in the 1964 Niigata earthquake and in the 1983 Middle Japan Sea earthquake. Therefore, it is very important to evaluate the soil liquefaction potential, in advance. This paper deals with procedure for evaluating soil liquefaction potential against earthquakes based on case study in KANAZAWA plain.

The results show that the present procedure using mesh analysis is adequate for assessing macroscopically liquefaction potential. However, it is necessary to assess more accurately the effects of local soil liquefaction potential.